

# Сердечники из расплётённого железа в импульсных источниках питания

(часть 2)

Печатается с разрешения журнала CHIP NEWS Украина (<http://chipnews.com.ua>)

**Джим Кокс (Великобритания)**

Перевод Артёма Терейковского

**В продолжении статьи (начало см. СЭ № 1, 2006) описываются магнитные свойства различных марок расплётённого железа фирмы Micrometals и особенности использования сердечников из расплётённого железа в сглаживающих дросселях, сетевых фильтрах и индуктивных элементах резонансных преобразователей.**

Специально для дросселей с высокими частотами пульсаций были разработаны два новых материала: -18 и -52. В табл. 8 приведены сравнительные характеристики различных материалов (смесей).

Смесь -52 при такой же, как у материала -26, проницаемости имеет на 40% меньшие потери на частотах выше 100 кГц при той же цене. Смесь -18 имеет более высокую проницаемость, чем -8, такой же уровень потерь и меньшую стоимость.

При разработке дросселей с повышенной переменной составляющей индукции следует учитывать не только возрастающий уровень потерь, но и влияние переменной составляющей на индуктивность. На рис. 8 показана зависимость изменения начальной проницаемости различных материалов от амплитудного значения магнитной индукции ( $B_{pk}$ ). Последняя

определяется по формуле:  $B_{pk} = E_{rms} \times 10^8 / 4,44ANf$ , где  $B_{pk}$  вычисляется в гауссах,  $E_{rms}$  – действующее напряжение, В,  $A$  – площадь сечения сердечника, см<sup>2</sup>,  $N$  – число витков,  $f$  – частота переключения, Гц.

При повышении уровня постоянной и переменной составляющих их влияние взаимно компенсируется. Этот эффект на примере материала -26 показан на рис. 9 при разных уровнях пульсации. В то время как возрастание постоянной составляющей магнитной индукции в сердечнике вызывает уменьшение магнитной проницаемости, увеличение переменной составляющей способствует увеличению проницаемости. Это означает, что дроссели, работающие при повышенной переменной составляющей, должны иметь меньшее количество витков, чем получается при расчёте, учитывающем только постоянный ток в обмотке.

Возьмём те же исходные данные, что и в предыдущем примере – индуктивность дросселя 30 мкГн, ток в обмотке 10 А. На этот раз дроссель будет работать при напряжении 12,7 В на частоте 100 кГц, скважность 50%. Определим характеристики дросселя при использовании кольца Т106 из разных смесей. В каждом случае количество витков определяется по кривым зависимостей накапливаемой энергии. Поскольку эти зависимости определены при постоянном токе в обмотке, при наличии переменной составляющей результаты будут отличаться.

Индуктивность дросселя определена при напряжении 12,7 В на частоте 100 кГц и при постоянном токе 10 А. Это позволяет оценить изменение индуктивности дросселя для каждого из материалов. Потери в меди ( $I^2R$ ) и сердечнике, зависящие от амплитудного значения магнитной индукции ( $B_{pk}$ ), представлены в табл. 9. Во всех случаях индуктивность дросселя при 10 А постоянного тока в обмотке превысила 30 мкГн. Материалы -18 и -8 обеспечивают минимальные совокупные потери, но являются наиболее дорогими (см. табл. 1). Смесь -52 по уровню потерь занимает следующее место, но стоит она значительно дешевле.

Материалы с более высокой начальной проницаемостью, такие как -26 и -52, имеют наибольшую амплитудную нелинейность проницаемости при изменении рабочего тока от нуля до максимального значения. При таком «качании» дроссель обладает большей проводимостью при малых токах, чем в случае, если бы это «качание» отсутствовало. Для устройств, работающих в широком диапазоне токов нагрузок, может быть необходимо увеличение индуктивности при очень малых токах в 10...20 раз от номинального значения при максимальной нагрузке.

Этого можно добиться, используя гибридный сердечник, составленный из ферритового кольца с высокой начальной проницаемостью и кольца из

**Таблица 8. Сравнительные характеристики потерь материалов**

Материал, № смеси	Сравнительные характеристики потерь, мВт/см <sup>3</sup>						Проницаемость при постоянном токе	
	60 Гц	1 кГц	10 кГц	50 кГц	100 кГц	500 кГц	$H_{DC} = 62,83 \text{ А/см}$	
	0,5 мТл	0,15 мТл	50 мТл	22,5 мТл	14 мТл	5 мТл	% $\mu_0$	$\mu_{\text{эффективное}}$
-2	19*	32*	32*	28	19	12	100	10
-8	45	64	59	50	35	28	91	31,9
-14	19*	32*	32*	29	21	17	100	14
-18	48	72	70	63	46	37	74	40,7
-26	32	60	75	89	83	139	51	38,3
-30	37	80	120	149	129	129	91	20
-34	29	61	87	100	82	78	84	27,7
-35	33	71	109	137	119	123	84	27,7
-38	31	57	72	99	103	217	51	43,4
-40	29	62	93	130	127	223	62	37,2
-45	26	49	60	69	61	92	46	46
-52	30	56	68	72	58	63	59	44,3

распылённого железа. Феррит обеспечивает высокую индуктивность, необходимую при малых токах, а распылённое железо обеспечивает накопление необходимого количества энергии при больших токах нагрузки. Характеристика насыщения постоянным током гибридных сердечников из композиций -267 и -275 приведена на рис. 10, на котором показана зависимость степени насыщения гибридного сердечника от постоянного тока. Напряжённость постоянного магнитного поля  $H$  (Э) определяется по формуле:  $H = 0,4\pi NI/L$ , где  $N$  – число витков,  $I$  – постоянный ток в обмотке,  $A, L$  – средняя длина магнитного пути в см.

Композиция -267 состоит из 33% феррита силовой марки, аналогичной N67 (N87) фирмы Epcos, с проницаемостью 2300 и 67% распылённого железа марки -52 с проницаемостью 75. Соответственно, композиция -275 состоит из 25% феррита и 75% распылённого железа.

В дросселе традиционного корректора коэффициента мощности (ККМ) на основе повышающего преобразователя непрерывно меняется ток смещения основной частоты (50 или 60 Гц) и ток высокочастотного переключения преобразователя. Сочетание этих факторов делает расчёт дросселей ККМ более сложной задачей, чем расчёт типичного дросселя с постоянным подмагничиванием. Оценка потерь такого дросселя рассмотрена выше. В общем случае рекомендуется рассматривать ток смещения как постоянный ток подмагничивания. Такой подход позволит использовать традиционную методику расчёта.

### Фильтры для сетей 50/60 Гц

На входе традиционных импульсных источников питания устанавливаются фильтры синфазных и дифференциальных высокочастотных помех. Синфазная помеха возникает симметрично между общим проводом схемы и «нулём» и «фазой» входного сетевого напряжения. Дифференциальная помеха наводится между «нулём» и «фазой».

Синфазная помеха подавляется включением конденсаторов между общим проводом схемы и входными клеммами сетевого напряжения. По соображениям безопасности ёмкость этих конденсаторов ограничивается относительно малыми значениями, поэтому для эффективного подавления синфазных помех дроссели входных фильтров должны иметь достаточ-

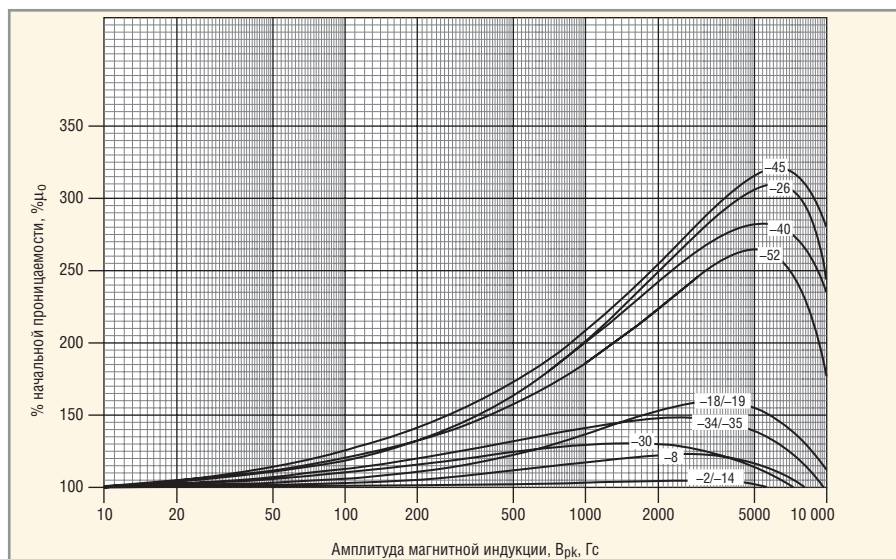


Рис. 8. Зависимость начальной проницаемости материалов от амплитудного значения магнитной индукции

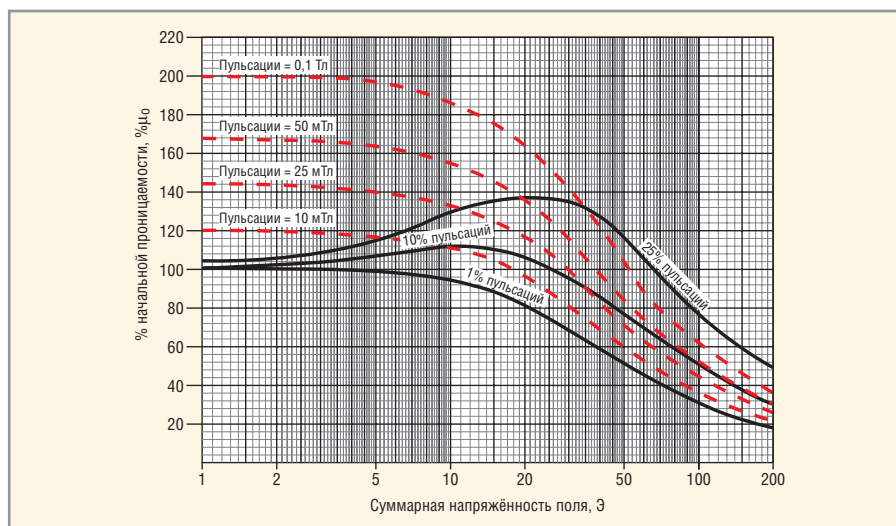


Рис. 9. Зависимость начальной проницаемости от суммарной напряжённости магнитного поля

но большую индуктивность, обычно не менее 1 мГн. Традиционно такие дроссели имеют две симметричные обмотки (см. рис. 11), намотанные на ферритовый сердечник с проницаемостью не менее 5000. Магнитная индукция, создаваемая током основной частоты (50 или 60 Гц) в каждой из обмоток, взаимно компенсируется, таким образом, кольцо не насыщается. Магнитные ма-

териалы с меньшей проницаемостью, такие как распылённое железо, также применимы, но увеличение размеров колец для размещения необходимого числа витков делает их использование малопривлекательным.

Напротив, дроссели фильтров дифференциальных помех не должны насыщаться при значительной магнитной индукции, создаваемой потребля-

Таблица 9. Характеристика насыщения постоянным током

Материал, № смеси	Витки, $d = 1,29$ мм	$L$ , мкГн, 0 ADC	$L$ , мкГн, 10 ADC	$V_{pk}$ , мТл	Потери		
					в меди	в сердечнике	суммарные
-8	27	34,8	30,6	17,8	1,6	0,24	1,84
-18	24	45,2	33,4	20,1	1,42	0,34	1,76
-26	25	77,3	38,3	19,3	1,48	0,73	2,21
-28	34	39,2	33,3	14,2	2,02	0,75	2,77
-33	31	45	35,3	15,5	1,84	0,75	2,59
-40	24	63	39,7	20,1	1,42	1,01	2,43
-52	23	68,8	42,3	20,9	1,36	0,51	1,87

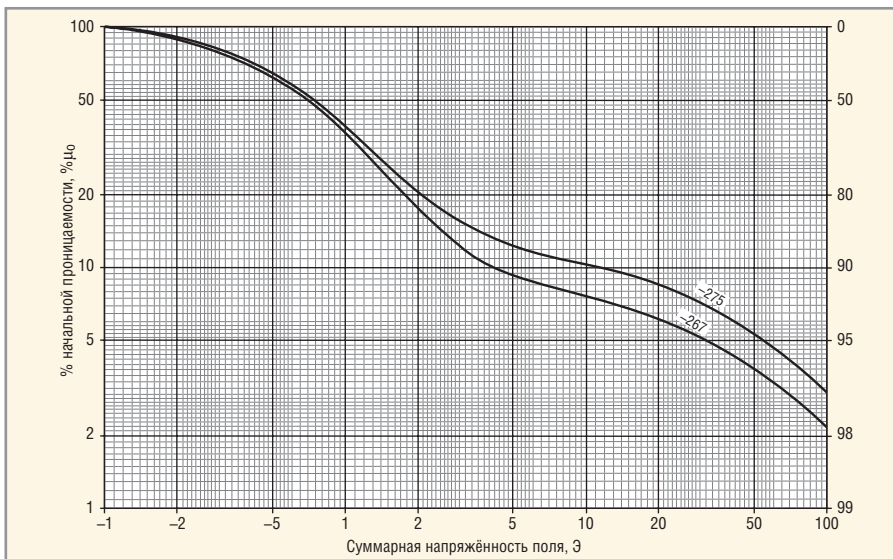


Рис. 10. Зависимость начальной проницаемости от напряженности постоянного магнитного поля

емым от сети током 50/60 Гц, и эффективно подавлять высокочастотные помехи. Распылённое железо наилучшим образом отвечает этим требованиям.

Для сердечников из распылённого железа характерно явление магнитострикции. Это означает, что под воздействием магнитного поля геометрические размеры сердечника незначительно изменяются. В устройствах, работающих на частотах более 20 кГц, магнитострикцией можно пренебречь. Дроссели, работающие на частоте 50/60 Гц, могут «жужжать» достаточно заметно, особенно если в них использованы Е-образные сердечники.

Магнитострикция зависит также от формы тока в обмотке и амплитуды индукции магнитного потока в сердечнике дросселя.

Из кривой зависимости увеличения проницаемости от амплитудного значения магнитной индукции переменного тока (см. рис. 11) следует, что индукция насыщения распылённого железа превышает 1 Тл (10 000 Гс) и достигает максимального значения 1,4 Тл (14 000 Гс). Очевидно, что материалы с высокой начальной проницаемостью, например -26, имеют более значительную амплитудную нелинейность магнитной проницаемости.

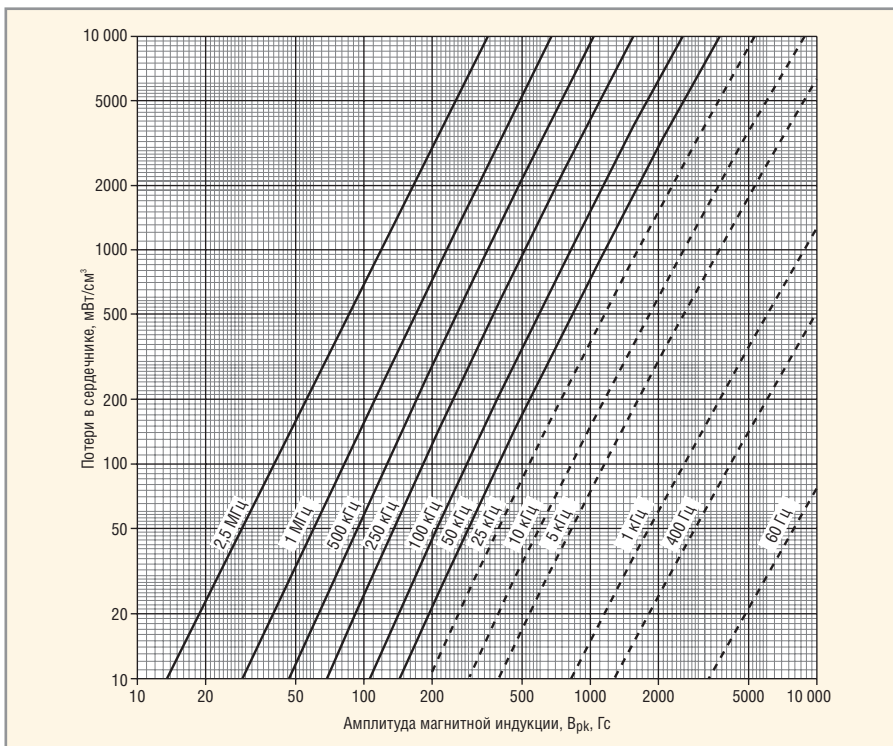


Рис. 12. Зависимость потерь в сердечнике от амплитудного значения магнитной индукции и частоты переменного поля

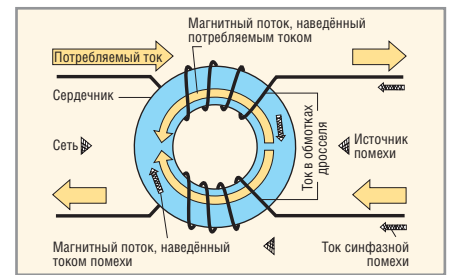


Рис. 11. Распределение магнитных потоков в сердечнике дросселя с токовой компенсацией

Из показанной на рис. 3 зависимости потерь для смеси -52 следует, что на частоте 60 Гц этот материал может функционировать при значительном размахе переменной магнитной индукции без возникновения избыточных потерь. На высоких частотах потери материала -52 значительно возрастают и снижают добротность дросселя. Такая особенность способствует лучшему подавлению нежелательных ВЧ-сигналов.

Кривые, отражающие способность сердечников накапливать энергию на частоте 60 Гц, получены как результат поведения материала при различных значениях амплитудной магнитной индукции (рис. 11). При этом неясно, как изменяется проницаемость материала вследствие слабой высокочастотной помехи. Консервативная методика расчёта предлагает считать ток основной частоты 50/60 Гц постоянным током.

### ИНДУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Другим применением накопительных дросселей являются преобразователи напряжения резонансного типа. Чтобы ограничить потери в сердечнике на приемлемом уровне, необходимо минимизировать индукцию в сердечнике. При использовании материалов с меньшей начальной проницаемостью число витков обмотки увеличится, так что при том же токе в обмотке генерируется меньшая магнитная индукция.

Одним из методов снижения эффективной проницаемости и уменьшения магнитной индукции в сердечнике является введение локального воздушного зазора. На частотах свыше 100 кГц потери из-за краевого искажения поля в зазоре резко возрастают и могут вызвать существенный локальный перегрев. Во многих случаях потери в зазоре могут превышать потери в сердечнике.

В течение многих лет сердечники из распылённого железа используются в

источниках питания с высокой удельной мощностью, работающих на частотах от 500 кГц до нескольких мегагерц. Одним из материалов, всё чаще используемых в преобразователях резонансного типа, является смесь -2. Этот материал имеет проницаемость около 10, что позволяет работать с низкой индукцией в сердечнике без возникновения зон локального перегрева. При таких высоких рабочих частотах для минимизации потерь в меди весьма существенным является использование лицендрата. На рис. 12 показана зависимость потерь в сердечнике от амплитудного значения магнитной индукции для материала (смеси) -2 на частотах до 2,5 МГц (зависимости потерь на низких частотах экстраполированы из значений, полученных на высоких частотах). На основе этой информации получены зависимости, приведённые на рис. 13. Этот график показывает максимальное действующее значение переменного тока в обмотке как функцию индуктивности на частоте 1 МГц при допустимом повышении температуры вследствие потерь в сердечнике на 25°C.

Если смесь -2 предназначена для резонансных цепей на частотах свыше

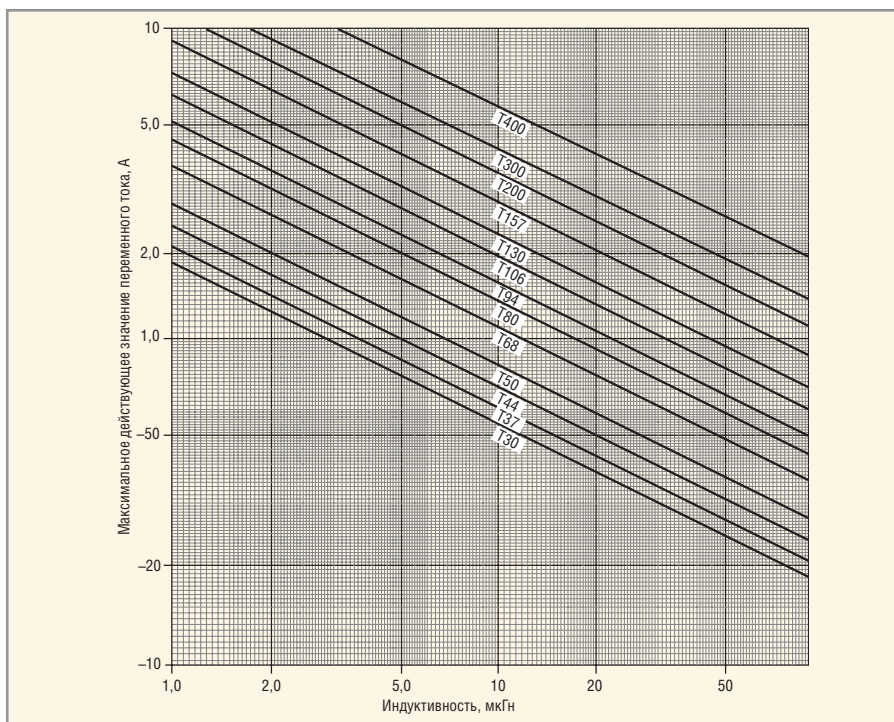


Рис. 13. Зависимость действующего значения тока в обмотке от индуктивности ( $f = 1$  МГц,  $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ )

20 кГц, смесь -30 используется для низкочастотных дросселей переменного тока в источниках бесперебойного питания большой мощности, работающих на частотах 1...5 кГц. Этот матери-

ал обеспечивает хороший компромисс между начальной проницаемостью, уровнем потерь, характеристиками насыщения и ценой сердечника.

*Продолжение следует.*

## Магнитодиэлектрики MICROMETALS

### Снижение габаритов и потерь энергии



Высокоэффективные магнитодиэлектрические сердечники Micrometals для силовой электроники и ВЧ-техники

Micrometals наносит на свои изделия запатентованную цветовую маркировку в качестве защиты от подделок. Оригинальная продукция Micrometals в компании ПРОСОФТ

#### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ДОСТОИНСТВА

- Большая номенклатура типоразмеров – от 3,4 мм до 165 мм
- Токоизолирующее полимерное покрытие до 3 слоёв
- Тороидальные, Ш- и U-образные, трубчатые, низкопрофильные сердечники, стержни, шайбы, бусины и др.
- Силовые магнитопроводы до 5 МГц
- ВЧ-сердечники для частот от 0,01 до 500 МГц
- Рабочая температура до 2000°C
- Высокая стабильность параметров

#### Применение сердечников MICROMETALS позволяет:

- Снизить стоимость индуктивных компонентов в 3...5 раз
- Снизить потери на 30...50% по сравнению с ферритами
- Оптимально распределить потери между сердечником и обмоткой
- Повысить надёжность аппаратуры
- Оптимизировать конструкцию и уменьшить габариты индуктивных компонентов

**PROSOFT®**

ПРОСОФТ – АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Телефон: (495) 234-0636 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.prochip.ru